

- высокая плавность движения поезда;
- меньшая вероятность обрыва автосцепных устройств и схода вагонов в грузовых поездах, т. е. более высокая безопасность движения, обусловленная также наличием второго тормоза;
- сокращение времени движения на спусках за счет поддержания более высокой скорости;
- экономия тормозных колодок и электрической энергии.

Практика показала, что эффективность рекуперативного торможения существенно зависит от взаимодействия электроподвижного состава и системы тягового электроснабжения, их технического состояния, качества ремонта и настройки схем рекуперации, уровня квалификации ремонтного персонала, локомотивных бригад и т. п. [2].

Таким образом, эффективное использование энергоресурсов на тягу поездов за счет применения инновационных решений и технологий позволяет снизить затраты и повысить энергоэффективность перевозочного процесса.

#### Список использованных источников

1. Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_93978/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93978/) (дата обращения 15.11.17).
2. Энергосбережение на железнодорожном транспорте: учебник для вузов / под ред. В.А. Гапановича. М.: Изд. Дом МИСиС, 2012. 620 с.
3. Сайт Евразия Вести. <http://www.eav.ru/publ1.php?publid=2013-02a06> (дата обращения 15.11.17).

УДК 621.18

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕРМОСИФОНОВ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ГАЗОВ**

## USAGE OF THERMOSIPHONS FOR RECYCLING OF HIGH-TEMPERATURE GASES HEAT

Даминов Д. Р., Папченков А. И.<sup>1</sup>, Павлюк Е. Ю., Мунц В. А.

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

<sup>1</sup> ООО «УГМК-Холдинг», г. Екатеринбург

Daminov D. R., Papchenkov A. I., Pavlyuk E. Yu., Munts V. A.

Ural Federal University, Ekaterinburg

LLC «UGMK-Holding», Service of the director for energy, Ekaterinburg

**Аннотация:** Работа направлена на изучение переходных процессов в термосифонах. Получены расчетные зависимости для определения основных температурных характеристик объекта регулирования. Предложены уравнения для расчета изменения температуры насыщения в термосифоне в зависимости от конструктивных и режимных параметров теплоутилизатора. Получены выражения для постоянной времени и коэффициента усиления при ступенчатом увеличении температуры газов. Приведены расчеты изменения температуры насыщения в термосифоне при линейном уменьшении температуры газов. Сопоставление расчетных и экспериментальных данных показывает удовлетворительное совпадение.

**Abstract:** The work is aimed at studying of transient processes in thermosyphons. The calculated dependences for determining the basic temperature characteristics of the controlled object are obtained. Equations for calculating the change in saturation temperature in a thermosyphon are proposed. These changing are strongly depends on the design and operating parameters of the heat exchanger. Calculations of the change in the saturation temperature in a thermosyphon with a linear decrease in the temperature of gases are shown. For these investigations the changes in the temperature of gases and the saturation temperature in thermosyphons were held. Comparison of the calculated and experimental data show a satisfactory agreement

**Ключевые слова:** *термосифон, температура, термическое сопротивление, конвективный газоток.*

**Key words:** *thermosyphon, temperature, thermal resistance, flue duct.*

Вопросы использования теплоты промышленных газов, получаемых в результате производства черных и цветных металлов исследуется достаточно давно. В процессе утилизации возможна выработка тепловой энергии в виде пара или горячей воды. Полученные теплоносители могут использоваться для теплоснабжения предприятия, а также объектов различного назначения. В данном случае используются котлы-утилизаторы

Температура уходящих газов в некоторых случаях достигает 1000 °С и более. В таких случаях температурные режимы работы металла стенки трубы близки к предельным. Использование высоколегированных сталей различного типа тоже не всегда позволяет решить этот вопрос.

Альтернативой использованию традиционных змеевиковых поверхностей нагрева может стать установка термосифонов. Это достаточно новый вид теплообменного оборудования, который требует апробации в промышленных условиях.

Температурные режимы котлов-утилизаторов непосредственно зависят от работы основного оборудования, в котором образуются горячие газы различного химического состава. При этом изменение нагрузки печи влечет за собой изменение расхода горячих газов, а, следовательно, выработки тепловой энергии в виде пара или горячей воды котлом-утилизатором.

Замкнутые двухфазные термосифоны за последнее десятилетие зарекомендовали себя во многих областях промышленности как высокоэффективные, надежные теплопередающие устройства благодаря сочетанию ряда уникальных свойств: простоты изготовления, отсутствия движущихся частей и потребности в перекачивании теплоносителя, возможности создания

изотермических условий на больших площадях и значительной теплопередающей способности.

Работа выполнена на медеплавильном комбинате «Святогор», г. Красноуральска, на установке для утилизации теплоты за отражательной печью № 2.

При работе отражательной печи выделялись газы в количестве 75000–94500 м<sup>3</sup>/ч и температурой около 1500 °С внутри печи. Для снижения потерь теплоты уходящих газов руководством предприятия было принято решение об установке котла-утилизатора за печью.

В данной работе сделана попытка рассмотреть работу термосифона как объекта системы автоматического регулирования с определением основных параметров объекта экспериментальным и расчетным путем. Для этого необходимо получить уравнение объекта. В данном случае это уравнение изменения температуры насыщения в термосифоне во времени в зависимости от режимных и конструктивных параметров термосифона.

Это уравнение можно получить, если рассматривать работу единичного термосифона с учетом распределения тепловых потоков по его поверхностям. Для этого записываются уравнения для определения термических сопротивлений процессов теплопроводности, испарения и конденсации теплоносителя.

Для определения коэффициентов теплоотдачи при кипении и конденсации использовались общепринятые формулы Нуссельта и Михеева [1, 2].

Уравнение для изменения температуры насыщения теплоносителя в термосифоне

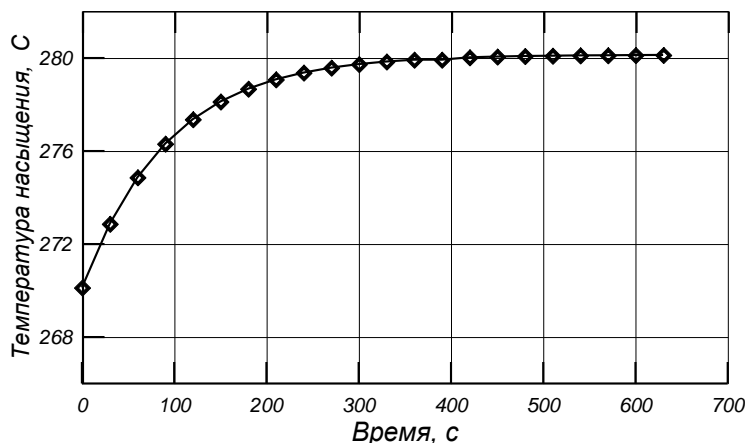
$$(M_{\text{м}} \cdot c_{\text{м}} + M_{\text{в}} \cdot c_{\text{в}}) \frac{dt_{\text{н}}}{d\tau} = \frac{(t_{\text{г}} - t_{\text{н}})}{R_{\text{и}}} - \frac{(t_{\text{н}} - t_{\text{с}})}{R_{\text{к}}}, \quad (1)$$

где  $R_{\text{и}}$  и  $R_{\text{к}}$  – суммы термических сопротивлений в зоне испарения и конденсации.

В начальный момент времени равный  $\tau = 0$ , в стационарном состоянии, температура насыщения находится из условия  $dt / d\tau = 0$ .

Расчеты изменения температуры насыщения в термосифоне были проведены для блока термосифонов, установленных в

конвективном газоходе за металлургической печью на предприятии «Святогор» Результаты расчетов представлены на рисунке, из которого следует, что при ступенчатом изменении температуры газов продолжительность переходного процесса составляет около 10 минут.



Изменение температуры насыщения в термосифоне при ступенчатом увеличении температуры газов от 900 °C до 1000 °C

На самом деле организовать ступенчатое изменение температуры на промышленной печи практически невозможно, из-за инерции самой печи и необходимости соблюдения регламента пуска и останова.

Получены расчетные характеристики (постоянные времени и коэффициент усиления) термосифона как объекта регулирования при ступенчатом возмущении изменением температуры газов.

Результаты исследования показали совпадение экспериментальных данных с расчетными даже при замене линейного возмущения расходом газов ступенчатым.

Список использованных источников

1. Михеев М. А. Основы теплопередачи. – М. : Госэнергоиздат, 1956. 392 с.
2. Теплопередача: учебник для высшей школы / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – 4<sup>ое</sup> изд. – М. : Энергоиздат, 1981. – 416 с.
3. Дж. Корн, Т. Корн. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М., 1968. 720 с.

УДК 621.311

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РАБОТУ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 110 КВ